

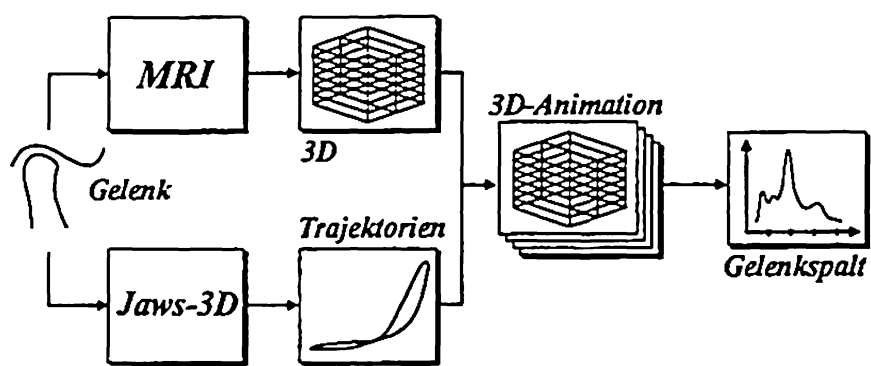
Untersuchung von Gelenkbelastungen mittels Kombination von Tomographie- und Bewegungsdaten

Krebs, M., Gallo, L.M., Palla, S.

Klinik für Kaufunktionsstörungen und Totalprothetik
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Universität Zürich, Plattenstrasse 11, CH-8028 Zürich, Schweiz

EINLEITUNG

Bei der Erforschung von Kiefergelenkserkrankungen sind sowohl die Beziehung der artikulierenden Flächen (*Kondylus* und *Fossa*) zueinander als auch die dabei auftretenden Kräfte von Interesse. Um Erkenntnisse über die Belastung der Gelenke während funktionellen Bewegungen zu erhalten, wurden bisher experimentelle Messungen mit Affen durchgeführt [1] oder mathematische Methoden angewandt, um aufgrund von Kaukräften Reaktionskräfte in den Gelenken zu bestimmen [2].



Figur 1: 3D-Animation des Kiefergelenks.

Das Ziel dieser Studie war es, mit Hilfe einer Methode, die Tomographie- und Bewegungsdaten des Gelenks kombiniert [3], den Gelenkabstand dynamisch zu messen und so die Belastung des Gelenks abzuschätzen (Figur 1).

METHODE

Die 3D-Animation des Kiefergelenks basiert auf einer Kombination von Magnetresonanz (MR) - Tomogrammen und einer Bewegungsaufzeichnung.



Figur 2: MR-Schnittbild des Kiefergelenks

Die MR-Aufnahmen erfolgen auf einem Philips Gyrosan ACS-II unter Verwendung spezieller Oberflächenspulen. Ein optimaler Kontrast zwischen Knochen und Weichteilen wird mit einem FFE-Scanverfahren (*gradient recalled echo*) mit einer Wiederholungszeit

von 300 ms und einer Echozeit von 9 ms erreicht. Pro Gelenk werden 14 Schichten von 2 mm Dicke und 100×100 mm Grösse aufgenommen. Die resultierenden Bilder (Figur 2) mit einer Auflösung von 256×256 Punkten erlauben eine dreidimensionale Rekonstruktion des Gelenks, indem die einzelnen Bilder segmentiert und die Oberflächen von Kondylus und Fossa durch Polygone approximiert werden.

Unterkieferbewegungen werden mit dem Tracking-System *Jaws-3D* aufgezeichnet. Dieses vermisst mit 67 Hz über drei eindimensionale CCD-Kameras die Bewegung von je drei LED's, die starr mit den Zähnen des Ober- bzw. Unterkiefers verbunden sind. Durch Berechnung der Relativbewegung ergibt sich die Kiefergelenkbewegung in allen sechs Freiheitsgraden.



Figur 3: Referenzsystem.

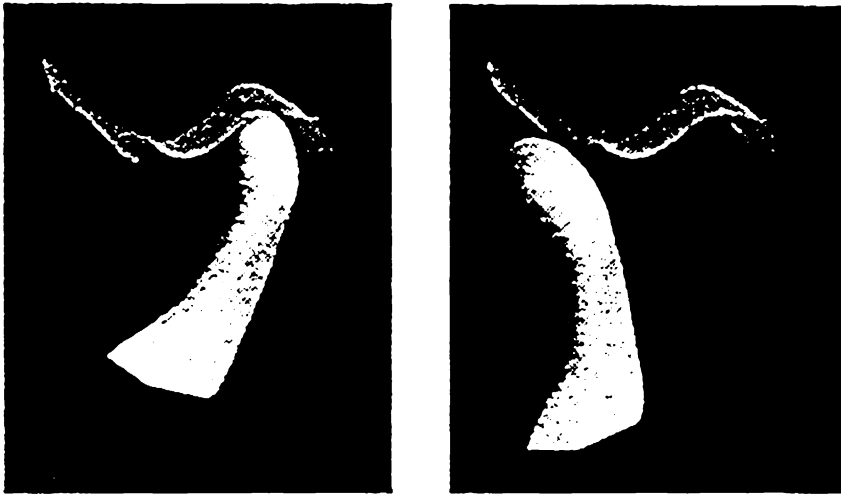
Die Kombination der MR-Tomogramme mit den Bewegungsaufzeichnungen erfolgt mit Hilfe von Referenzmarken. Ein Gestell aus Kohlefaser-Stäben, das mit einem Monoblock zwischen den Zähnen gehalten wird, positioniert je ein Referenzsystem über den beiden Kiefergelenken (Figur 3). In einem dreieckigen Prisma befinden sich drei Plastikkugeln (Ø10 mm) in einem Abstand von je 30 mm. Das Prisma ist mit MR-Kontrastmittel Magnevist® (0.5 mMol pro Liter) aufgefüllt. Zusätzliche MR-Bilder durch die Referenzen gestatten es, die Kugelzentren exakt zu lokalisieren. Durch die Befestigung von drei LED's am Referenzsystem kann deren räumliche Lage auch mit dem Tracking-System vermessen werden. Somit ist die Koordinatentransformation zwischen den beiden Mess-Systemen bekannt.

Zur Untersuchung der Gelenkbelastung wird die Veränderung des Gelenkspalts betrachtet, wobei als Mass für die Kompression der intra-artikulären Gewebe der minimale Abstand zwischen den artikulierenden Flächen dient. Von 10 gesunden Probanden wurden MR-

Aufnahmen der Kiefergelenke gemacht und mit Aufzeichnungen von unilateralen Kaubewegungen kombiniert. Für Kauen von hartem Kaugut (getrocknetes Fleisch) und weichem Kaugut (Käse) wurden die Abstände beim Öffnen und Schliessen sowie auf der ipsilateralen Seite (Arbeitsseite) und der contralateralen Seite (Balanceseite) verglichen.

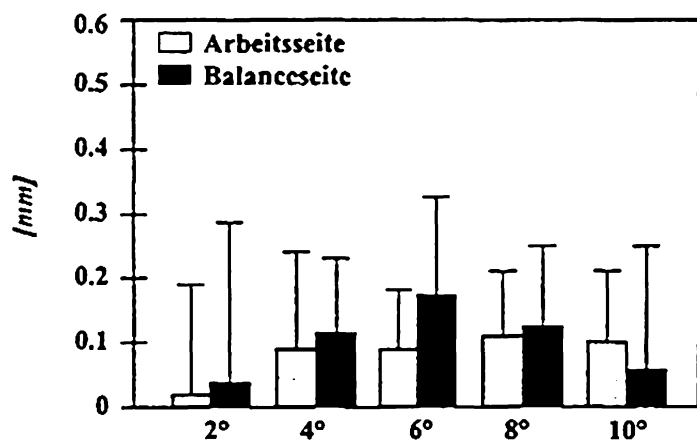
RESULTATE

Figur 4 veranschaulicht zwei Stellungen des Kondylus während einer Öffnungs- und Schliessbewegung. Auf einem leistungsstarken Grafikcomputer lässt sich die Animation auch in Echtzeit darstellen.



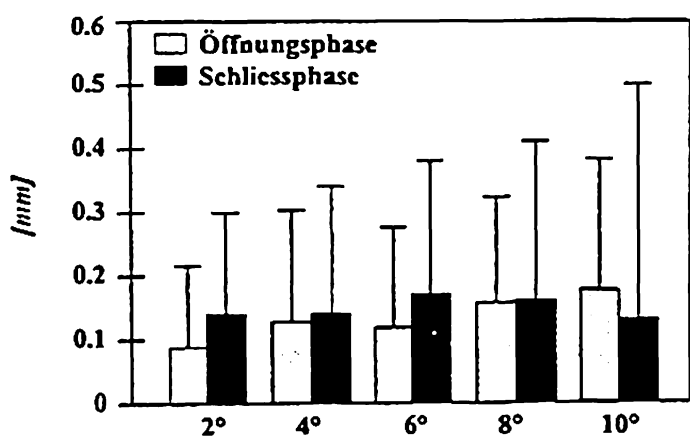
Figur 4: Kiefergelenk bei geschlossenem Mund (links) und maximaler Öffnung (rechts).

Figur 5 zeigt die Differenz der Abstände von Öffnungs- und Schliessphase beim Kauen von getrocknetem Fleisch für verschiedene Mundöffnungswinkel (Durchschnitt und Standardabweichung der 20 Gelenke).



Figur 5: Öffnungs- vs. Schliessphase.

Die positiven Werte zeigen, dass der Gelenkspalt im Durchschnitt sowohl auf der Arbeits- wie auf der Balanceseite beim Öffnen für alle Winkel grösser war als beim Schliessen. Die Differenzen sind signifikant ($p < 0.05$, paarweiser *t-Test*) für alle Winkel ausser 2° (beide Seiten) sowie 4° auf der Arbeitsseite.



Figur 6: Arbeits- vs. Balance-Gelenk.

Beim Vergleich von Arbeits- und Balanceseite (Figur 6) war der Gelenkspalt auf der Balanceseite jeweils kleiner als auf der Arbeitsseite. Die Unterschiede waren signifikant ausser bei 10° während des Schliessens. Für Kaubewegungen von Käse fielen die Resultate ähnlich aus, wobei die Unterschiede nur für wenige Öffnungswinkel signifikant waren. Signifikante Unterschiede zwischen harter und weicher Nahrung waren nicht vorhanden.

SCHLUSSFOLGERUNG

Der Abstand zwischen den artikulierenden Flächen war unterschiedlich beim Öffnen und Schliessen sowie auf der Arbeits- und Balanceseite. Die gefundenen Resultate entsprechen den Ergebnissen anderer Studien zur Abschätzung der Gelenkbelastung [1,4]. Veränderungen des Gelenkspaltes scheinen deshalb gut mit Belastungen des Kiefergelenks übereinzustimmen. Da diese Methode individuelle Messungen erlaubt, sind Vergleiche verschiedener Probanden und Kaugvorgängen möglich.

AUSBLICK

Die oben beschriebene Methode lässt sich grundsätzlich auf andere Gelenke übertragen. Figur 7 zeigt die Animation eines Fingergelenks. Die Referenzen wurden mit Plastik-Clips an den Fingergliedern befestigt. Die MR-Aufnahmen erfolgten mit gestrecktem Finger.



Figur 7: 3D-Animation eines Fingers.

Zur Untersuchung komplexer Gelenke ist es jedoch erforderlich, das bestehende System zu erweitern. Insbesondere muss das Tracking-System in der Lage sein, mehr als sechs Freiheitsgrade aufzuzeichnen, da sich bei vielen Gelenken wie Schulter, Kniegelenk, Ellbogen oder Wirbelsäule mehr als zwei Knochen unabhängig zueinander bewegen.

LITERATUR

- [1] Hylander W.L.: Experimental analysis of temporomandibular joint reaction forces in macaques. *Am J Phys Anthropol* 1979 (51), 433-456.
- [2] Koriath T.W. et al.: Three-dimensional finite element stress analysis of the dentate human mandible. *Am J Phys Anthropol* 1992 (69), 69-96.
- [3] Krebs M. et al.: Three-dimensional animation of the temporomandibular joint. *Technology and Health Care* 1994 (2), 193-207.
- [4] Ito et. al: Loading on the temporomandibular joints with five occlusal conditions. *J Prosthet Dent* 1986 (56): 478-484.